

Title	博士論文概要
Author(s)	
Citation	Cue : 京都大学電気関係教室技術情報誌 (2006), 16: 46-69
Issue Date	2006-10
URL	http://dx.doi.org/10.14989/57896
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

博士論文概要

【課程博士一覧】

岡村 崇弘	「Forced Convection Heat Transfer of He I and He II up to Supercritical Pressures」(超臨界圧に到るまでの種々の圧力下におけるHe I及びHe IIの強制対流熱伝達)	平成16年11月24日
清田 陽司	「Dialog navigator: A navigation system from vague questions to specific answers based on real-world text collections」(ダイアログナビ：実世界テキスト集合に基づく漠然とした質問から具体的な回答へのナビゲーションシステム)	平成16年11月24日
阪本 卓也	「Nonparametric Imaging Algorithms for UWB Pulse Radars」(UWBパルスレーダのためのノンパラメトリックな画像化手法)	平成17年1月24日
ウ 小軍	「Parallel Pipeline Volume Intersection for Real-time 3D Shape Reconstruction on a PC Cluster」(PCクラスタを用いた実時間3次元形状復元のための並列パイプライン視体積交差法)	平成17年3月23日
小川 新平	「3次元フォトリック結晶による発光制御に関する研究」	平成17年3月23日
北村 雅司	「人間機械相互作用の認知工学的評価手法とPWR用中央制御盤への適用に関する研究」	平成17年3月23日
鄭 憲俊	「高温超伝導バルク回転子を適用した電動機の駆動機構に関する基礎的研究」	平成17年3月23日
城下 輝治	「データ配信プロトコルの構成法と性能評価に関する研究」	平成17年3月23日
薄 良彦	「Transient Dynamics and Stability Boundaries in Electric Power System with DC Transmission」	平成17年3月23日
高井 勇志	「High Fidelity and Versatile Visualization of 3D Video」(3次元ビデオの高精細・多様な映像化)	平成17年3月23日
筒井 弘	「組込み向けJPEG2000 符号化方式の実装法」	平成17年3月23日

根来 佑樹	「Ion Implantation and Embedded Epitaxial Growth for 4H-SiC Power Electronic Devices」	平成17年 3 月23日
延原 章平	「Deformable Mesh Model for 3D Shape and Motion Estimation from Multi-Viewpoint Video」(多視点映像からの3次元形状・運動復元のための弾性メッシュモデル)	平成17年 3 月23日
横山 光	「2次元正方格子フォトリック結晶面発光レーザーに関する研究」	平成17年 3 月23日
赤羽 良啓	「2次元フォトリック結晶高Q値光ナノ共振器とその応用」	平成17年 5 月23日
LIM AZMAN OSMAN	「Power and Rate Control in Wireless Ad Hoc Networks」 (無線アドホックネットワークにおける電力とレート制御)	平成17年 5 月23日
河原 大輔	「Automatic Construction of Japanese Case Frames for Natural Language Understanding」(自然言語理解のための日本語格フレーム自動構築)	平成17年 7 月25日
矢野 一人	「Study on CDMA Non-Linear Interference Cancellers with Multi-Antenna Reception」(複数アンテナ受信を用いたCDMA非線形干渉キャンセラに関する研究)	平成17年 7 月25日
小池 俊昭	「Space-Time-Frequency Signal Processing for Spectrum-Efficient Multiple-Antenna Wireless Transmission Systems」(周波数利用効率に優れた複数アンテナ無線伝送システムのための空間時間周波数信号処理)	平成17年 9 月26日
山本 高至	「Capacity and Spectral Efficiency of Multihop Radio Networks」(マルチホップ無線ネットワークの容量と周波数利用効率)	平成17年 9 月26日
周 楊平	「プロセスプラントの運用支援システムのためのソフトコンピューティング手法に関する研究」	平成17年 9 月26日

岡 村 崇 弘 (塩津教授)

「Forced Convection Heat Transfer of He I and He II up to Supercritical Pressures」
(超臨界圧に到るまでの種々の圧力下におけるHe I及びHe IIの強制対流熱伝達)

平成16年11月24日授与

超流動ヘリウム (He II) は常流動ヘリウム (He I) に比して優れた冷却特性を持ち、核融合炉や加速器などの大型超伝導マグネットの冷媒として期待されている。本研究論文はHe II やHe Iを超伝導コイルの冷却流路やコイル巻線の中に強制対流させて冷却する場合の冷却設計や安定性解析の基礎データを得ることを目標として、超臨界圧に到る種々の圧力下で試験ダクト中の平板発熱体における強制対流熱伝達を求め、熱流動現象を実験的・解析的に論じた結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1) 大気圧下He IIの強制対流熱伝達実験を試験ダクト長さや断面積、ダクト中央内部に貼り付けた平板試験発熱体の表面積等を種々変えて行い、熱伝達や臨界熱流束の流速、液温、試験部寸法依存性を明らかにした。従来、臨界熱流束が流速上昇と共に直線的に増加するモデルが提示されていたが、流速が大きくなると飽和傾向を示すことを初めて明らかにした。こうした実験結果を基に超流体熱輸送と顕熱輸送の効果を考慮した臨界熱流束表示式を提示した。

2) 大気圧下、He IIで強制対流冷却された発熱体に臨界熱流束より高い波高値をもつステップ状熱入力加わった場合の過渡熱伝達について実験を行い、定常熱伝達曲線の外挿線上に有限の寿命を持つ準定常状態が存在してから発熱体温度が急上昇し膜沸騰に移行することを明らかにした。ステップ高さが非常に大きい場合は、伝熱面近傍の温度分布が急峻で、温度境界層が層流低層内となるため、寿命は流速の影響を受けず、浸漬冷却の場合の表示式と良く一致するが、ステップ高さが低くなるにつれて流速の影響が顕著に現れることを示した。

3) 二流体モデルと超流動乱流理論に基づくHe II二次元熱流動解析コードを開発し、臨界熱流束解析結果が実験結果と12%以内で一致することを示し、このコードの有効性を確認した。数値解析により、臨界熱流束実験結果が流速上昇に伴い飽和傾向を持つのは、流速が大きくなるに従い、発熱体近傍の温度境界層厚さが薄くなり、臨界熱流束時の発熱体位置における流路断面平均温度がHe IIからHe Iへの転移温度 (ラムダ温度) より低くなって顕熱輸送の上昇が少なくなる結果であることを示した。

4) 2.8 atmの超臨界圧下でHe IIとHe Iの強制対流熱伝達実験を1) と同じ種々の形状の試験部を用いておこない、流速、液温、試験部寸法依存性を明らかにした。He IIの場合、流速、液温、試験部寸法が同じ時の大気圧下のデータと比較すると、臨界熱流束は僅かに低くなり、臨界熱流束以上の熱流束領域の熱伝達は大気圧下より良くなることを明らかにした。一方He Iの場合、臨界温度以下の液温では、熱伝達曲線が勾配の大きい低温域と勾配の小さい高温域からなるが、臨界温度以上では変曲点は観測されないことを実験的に明らかにするとともに、これは極低温でのみ生じる固体表面温度とそれに接する流体温度との間の温度ギャップ (Kapitza抵抗) に起因することを示した。また試験ダクト内の発熱体設置部分は流体力学的には十分発達しており、熱的には助走領域であることを考慮した層流・乱流領域の熱伝達表示式を提示し、層流熱伝達から乱流熱伝達への遷移レイノルズ数を明らかにした。

5) 超臨界圧下He Iの2次元強制対流熱伝達解析コードを開発した。臨界温度以上では流体の圧縮性が強くなるため、圧縮性を考慮した基礎式を計算精度と安定性に注意を払ったアルゴリズムで解析し、実験結果と比較してその有効性を確認した。流体の速度分布や温度分布を求め、流体の粘性が温度が高くなるに従い急激に大きくなることに基づく発熱体近傍の特異な速度分布や温度分布を明らかにした。

以上、本研究は超伝導マグネットの強制対流ヘリウム冷却に関し、幅広い冷却条件に対する熱流動特性を実験的・解析的に明らかにしたもので、その成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。

清 田 陽 司 (松山教授)

「Dialog navigator: A navigation system from vague questions to specific answers based on real-world text collections」

(ダイアログナビ：実世界テキスト集合に基づく漠然とした質問から具体的な回答へのナビゲーションシステム)

平成16年11月24日授与

コンピュータ、ネットワークの発達にともなって、私達の日常生活はパソコン、携帯電話、デジタル家電などの複雑な製品に取り囲まれたものとなっていますが、それらを使いこなすことは簡単ではありません。一方で、製品の電子マニュアルも整備されてきており、コールセンターなどに蓄積される対応記録を含めると、製品を使う上で生じる疑問・質問の大部分に対する答えは、テキストとして蓄積されているという状況です。しかし、ユーザの疑問・質問とそれらのテキストとの間にはさまざまなずれがあるため、なかなか求める答えにたどりつくことができません。大きく分けて、表現のずれ、具体性のずれがあります。企業のコールセンターや製品のエキスパートは、これらのずれを質問の柔軟な解釈やユーザとの対話によって解消することができます。一方、現在のテキスト検索システムにはこれらの能力がないため、ユーザ側でこれらのずれに対処する必要がありますが、一般ユーザにとっては困難です。また、人工知能的アプローチによってこれらのずれに対処するエキスパートシステムの研究がかつて行われていましたが、すでに蓄積されている大量のテキストにそれを適用することは不可能です。

本研究では、企業のコールセンターで蓄積されている大規模なテキスト知識ベースをもとに、自然言語処理技術を活用してユーザの質問とテキストの間のずれを解消するシステムの実現に取り組みました。まず表現のずれに対しては、質問とテキストの柔軟で厳密なマッチング手法を提案しました。本手法は、質問文とテキスト文の文構造を考慮した正確なマッチングを行い、同時にフレーズレベルの表現のずれを吸収するというものです。また、重要な言語現象である換喩によって生じる文構造のずれに対処する方法も提案しました。一方、具体性のずれに対しては、上記のマッチング手法にもとづき、トップダウンとボトムアップの2種類の聞き返しを組み合わせることでユーザを対話的に求める答えに導く方法(図1)を提案しました。

以上の提案手法を実際にマイクロソフト株式会社のソフトウェア製品に関する対話型質問応答システム「ダイアログナビ」(図2、<http://www.microsoft.com/japan/navigator/>)として実装し、マイクロソフトのWebサイト上で一般公開運用した結果にもとづいて総合的な評価を行いました。その結果、約7割の質問に対しては適切に応答できるという結果を得ました。また、聞き返しを行うための提案手法が有効に働いていることを確認しました。

なお、本研究は筆者が東京大学大学院情報理工学系研究科の特別研究学生、産学連携研究員として、黒橋禎夫助教授(当時、現京都大学大学院情報学研究科教授)の指導のもとで行い、平成14年4月からは「ダイアログナビ」の一般公開運用を開始しました。平成16年には科学技術振興機構(JST)さがけ研究員として、京都大学学術情報メディアセンターの河原達也教授のもとで「ダイアログナビ」の音声インタフェースの研究に取り組みました。また、本研究の遂行にあたってはマイクロソフト株式会社の方々に多大なご協力をいただきました。実社会で蓄積されている膨大なデータを研究に利用する機会を与えられたことは、貴重な経験となりました。研究を支えてくださった多くの方々に深く感謝いたします。

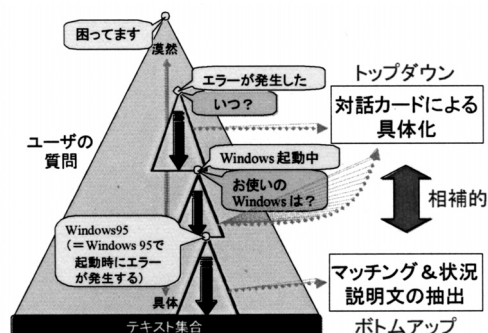


図1. 聞き返しによるユーザ質問の具体化

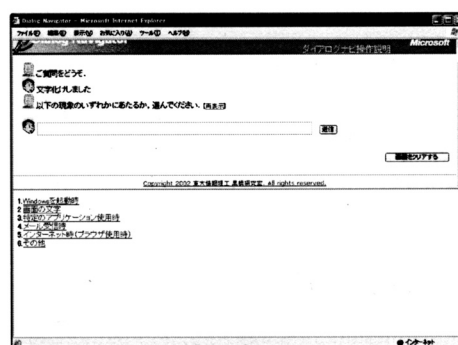


図2. 「ダイアログナビ」の画面

阪 本 卓 也 (佐藤教授)

「Nonparametric Imaging Algorithms for UWB Pulse Radars」
(UWBパルスレーダのためのノンパラメトリックな画像化手法)

平成17年1月24日授与

近い将来、災害現場等での救助用ロボットの活躍が期待されている。カメラ等の光学手法が使用不可能な状況下で機能しうるUWB（超広帯域）パルスレーダをロボットの立体状況測定に使用することは有利である。一般にUWBパルスレーダで近傍の目標物体形状を推定する問題は設定不適切逆問題の一種として知られている。この問題を解くための様々なアルゴリズムが既に提案されている。しかし、従来法の多くは地下探査や非破壊検査などを目的とし、物体の種類に依存せず動作するように反復処理を使用するパラメトリックな手法であるため、画像化に極めて長い計算時間を必要とした。一方、空気中の環境では目標物体の多くは明瞭な境界を有するという特徴を持っている。そこで本研究は明瞭な境界を持つ物体に特化したノンパラメトリックな目標形状推定アルゴリズムの開発を行い、ロボットなどの実時間処理に適した高速な手法を提案した。

単一の無指向性アンテナを2次元走査し、UWB信号であるモノサイクルパルスを送受信する。受信信号へは送信波形により生成した整合フィルタ処理の後、提案信号処理を適用する。xyz座標系内の $z=0$ 上でアンテナを走査し、アンテナ位置 $(x,y,z) = (X,Y,0)$ で受信された信号を $s(X,Y,Z)$ と定義する。ここで $Z=ft/2$ とする。但し、 t は受信時刻、 f は中心周波数である。 x,y,z,X,Y のいずれも中心波数で正規化する。明瞭な輪郭を有する目標境界上の (x,y,z) と $s(X,Y,Z)$ の等位相面上の点 (X,Y,Z) の間には次式の可逆な変換関係が成り立つことを明らかにした。

$$\begin{cases} X = x + z \partial z / \partial x \\ Y = y + z \partial z / \partial y \\ Z = z \sqrt{1 + (\partial z / \partial x)^2 + (\partial z / \partial y)^2} \end{cases} \quad \begin{cases} x = X - Z \partial Z / \partial X \\ y = Y - Z \partial Z / \partial Y \\ z = Z \sqrt{1 - (\partial Z / \partial X)^2 - (\partial Z / \partial Y)^2} \end{cases}$$

左の変換を境界散乱変換、右の変換を逆境界散乱変換と呼ぶ。また、 (X,Y,Z) の描く等位相面を疑似波面と呼ぶ。この逆変換が存在する意義は大きく、疑似波面が抽出されれば逆問題が上式の単純な変換に帰着され、数学的に厳密な解が反復によらず直接得られる。実際には信号から疑似波面をまず抽出し、逆境界散乱変換を適用する。次に、図1に示される完全導体目標に対し、提案手法の適用結果を示す。パルス送信間隔は0.25波長毎とし、 51×51 箇所でのパルス送受信を仮定する。疑似受信信号を数値計算により作成し、提案手法を適用する。推定目標形状を図2に示す。直接散乱波が受信される範囲において形状が推定されることが確認される。計算時間は単一のXeon2.8GHzプロセッサを用いて約0.1秒と高速である。

本研究では上記の原理を元にし、多重散乱による虚像の除去、不規則媒質中での形状推定、および凹面散乱による位相回転効果の補正による高精度化などの諸技術を開発し、それらの性能について詳細な検討を行った。本研究は室内環境でのイメージング用レーダ技術分野での大きな一歩となったと確信する。

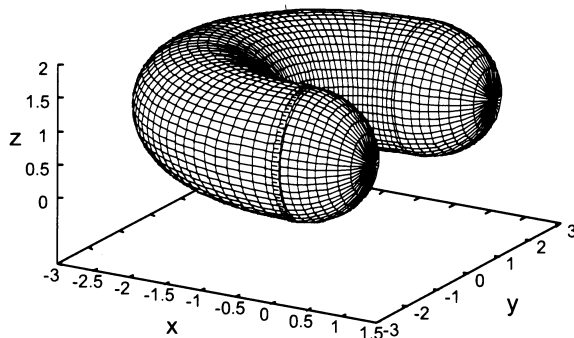


図1. 適用例に用いる真の目標形状

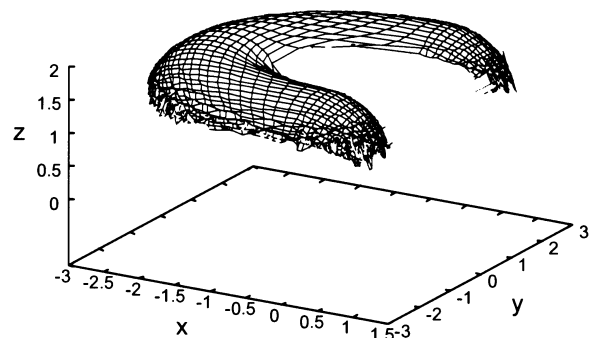


図2. 提案法により推定される目標形状

ウ 小 軍 (Xiaojun Wu) (松山教授)

「Parallel Pipeline Volume Intersection for Real-time 3D Shape Reconstruction on a PC Cluster」

(PC クラスタを用いた実時間 3 次元形状復元のための並列パイプライン視体積交差法)

平成17年 3 月23日授与

モーションキャプチャシステムを使った、装着マーカを対象とした 3 次元点運動計測ではなく、人間や動物の全身の 3 次元動作をありのままリアルタイムで計測することは、スポーツ解析や舞踊の記録、さらには 3 次元映像を用いた高臨場感通信など幅広い分野において必要とされる基盤技術となっている。

本論文は、分散配置されたカメラ群を持つ PC クラスタによって、多数の異なった視点から対象の動きを撮影し、得られた多視点ビデオから、対象の 3 次元動作をリアルタイムに復元する並列パイプライン処理システムについてまとめたもので、6 章から構成される。

第 1 章では、多視点画像から対象の 3 次元形状を復元する手法について概観し、本論文で提案する手法の基本的考え方、独自性について述べている。

第 2 章では、広い範囲に分散配置されたカメラ群の位置関係を正確に求めるカメラキャリブレーション法として、視点固定型パン・チルトカメラモデルを用いた方法を提案し、実世界を対象とした実験によって高精度キャリブレーションが実現できることを示している。

第 3 章では、撮影された多視点画像から対象の 3 次元形状を計算する手法として、3 次元空間を平行平面群として表し、各平面上での対象の断面形状を求めることによって対象の 3 次元形状を復元する平面ベース視体積交差法を提案し、その計算効率の高さを解析的に示している。さらに、その手法を拡張した部分撮影・3 平面視体積交差法を考案し、平面ベース視体積交差法における原理的問題点が解決できることおよび、計算の更なる効率化が図れることを解析的に示している。

第 4 章では、部分撮影・3 平面視体積交差法に基づいた 3 次元形状復元システムを開発するために、(1) シルエット抽出 (2) シルエットの基準平面への投影 (3) 視体積の生成 (4) 視体積の交差 (5) 交差後の視体積の変換 (6) 変換後の視体積の交差の 6 段階の処理アルゴリズムからなるソフトウェアシステムを設計・開発し、各処理アルゴリズムの計算速度を実データを用いて定量的に評価し、その有効性を明らかにしている。性能評価実験では、カメラによる映像撮影を除くと、9 視点から撮影された人物シルエットを 1 台の PC で処理した場合、空間解像度が 2cm では約 15ms、1cm では約 1 秒、5mm では 6～8 秒で処理が行えることが示されている。

第 5 章では、4 章で考案した処理アルゴリズムを並列化し、PC クラスタを用いたリアルタイム 3 次元形状復元を実現するために、次の 2 つの手法を提案している。(1) 基準シルエット複製並列アルゴリズム：平行平面群を部分集合に分割し、各部分集合を 1 台の PC に割り当てることによって、各平面上での対象の断面形状計算を並列に実行させる。(2) 各 PC 内での処理をパイプライン化し、更なる高速化を図る。実験では、人物の多様な動作を実際に撮影し、並列化、パイプライン化の効果を詳細に分析している。更に、並列処理とパイプライン処理をうまく同期させ、処理途中で待ち時間が生じないようにするためのパイプライン構成法について検討し、実用性の高い並列パイプライン処理方式を示している。最終的な性能評価実験では、9 台のカメラによる撮影から始まるオンライン・リアルタイム処理によって、人物動作が 1cm の空間解像度で毎秒 12 フレームの速度でリアルタイム復元できることが示されており、その実用性の高さを実証している。

第 6 章では、本論文全体について要約するとともに、今後の課題について議論を行っている。

小 川 新 平 (野田教授)

「3次元フォトニック結晶による発光制御に関する研究」

平成17年3月23日

本論文は、全ての方向において光の存在を禁止する完全フォトニックバンドギャップ (PBG) をもつ 3次元フォトニック結晶を用いた発光制御の実証を行った結果を纏めたものである。3次元フォトニック結晶は、これまで完全な光制御を期待されながら、作製の困難さから長年実現されていなかった。本研究の内容は次のように纏められる。

①ウエハ融着法によるストライプ積層型 3次元フォトニック結晶の作製方法を確立し、光通信波長域である $1.55\ \mu\text{m}$ 帯において完全PBGをもつことを実証した。

②完全PBGに与える構造ゆらぎの影響について詳細な検討を行った。ストライプの位相関係にゆらぎが生じた場合、ストライプ形状にゆらぎが生じた場合についてそれぞれ光学特性を評価し、ストライプ積層型 3次元フォトニック結晶が構造ゆらぎの影響を受けにくいこと、大きなゆらぎが生じた場合でも、積層数を増加させることにより、その影響はさらに小さくなることを実験的に示した。

③ 3次元フォトニック結晶を用いた発光制御に不可欠な発光体ならびに欠陥共振器の導入方法について詳細な検討を行った。特に、発光体とフォトニック結晶の融着を阻む原因が、それぞれの基板材料の熱膨張係数の差による熱膨張ストレスであることを突き止め、実験的・理論的な検討によって、基板薄膜化により、回避することが可能であることを実証した。最終的に、基板薄膜化と低温加熱を用いた異種材料融着技術を開発し、発光体ならびに欠陥共振器を 9層フォトニック結晶に導入することに成功した (図. 1 (a) (b))。

④ 3次元フォトニック結晶に発光体と欠陥共振器を導入した試料について発光特性を評価することで、次のことを実証した。完全PBGによって、全ての方向において発光が抑制されること。また、欠陥を導入することによって、欠陥が共振器として作用し欠陥モードが形成されること。欠陥モードの数・波長は、欠陥の形状によって任意に制御が可能であること (図 1 (c))。3次元フォトニック結晶中の欠陥共振器は、特異な 3次元共鳴によって形成されているため、Q値は積層数に大きく依存し、共振器体積を減少させてもQ値の低下を招かないという優れた共振器特性をもつこと。

以上、本論文では、3次元フォトニック

結晶による発光制御を世界に先駆けて実証することに成功した。また、最終的には17層フォトニック結晶に発光体と欠陥共振器を導入した試料の作製に成功した。

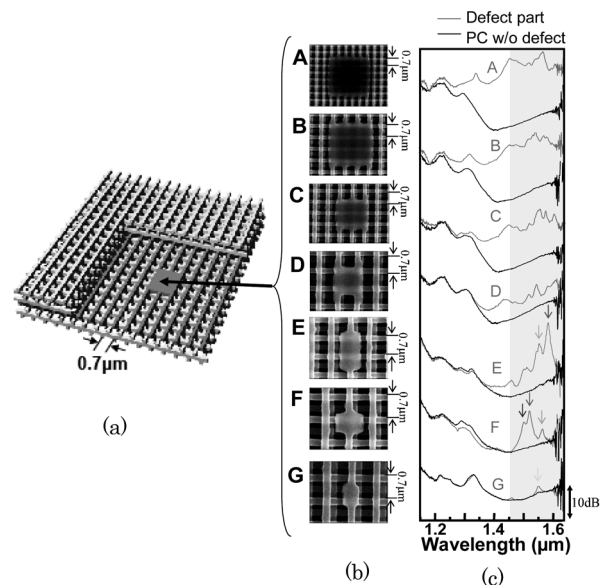


図 1. 9層フォトニック結晶中の発光体欠陥の発光特性
(a) 測定試料の模式図 (b) 導入した欠陥のSEM写真 (c) 発光特性

北 村 雅 司 (吉川榮和教授)

「人間機械相互作用の認知工学的評価手法とPWR用中央制御盤への適用に関する研究」
平成17年3月23日授与

原子力プラントの中央制御盤のような大規模システムのヒューマンマシンインタフェースでは、人間機械相互作用の認知工学的評価のための具体的な手法は確立されていない。そこで本研究では、客観的かつ定量的な評価を可能とする新たな認知工学的評価手法を提起し、PWR型原子力発電所の中央制御盤に、それらの手法を適用してヒューマンマシンインタフェース設計の効果的な検証手法の確立することを目的とした。本研究で得られた主な成果は次のとおりである。

1. ヒューマンマシンインタフェースでの人間の内面行動である認知行動の、状態遷移に付随して視覚系その他の生理指標が変動することに着目し、複数の生理指標を組み合わせる人間の認知行動状態を推定する方法として、あいまい推論、統計的推定法、ニューラルネットによる方法を考案し、基礎実験によりそれぞれの推定精度を比較検討した。
2. ヒューマンマシンインタフェースにおける認知行動の状態推移をリアルタイムで推定する方法として、ニューラルネットによる推定法をもとに、ニューラルネット学習に必要な認知状態のサンプルデータ収集のための被験者実験法を考案するとともに、各種生理指標の計測、特徴抽出および認知状態推定を一体化したシステムを構成して、被験者実験によりその機能を検証した。
3. ヒューマンマシンインタフェースにおける人間信頼性の評価指標であるヒューマンエラー率とメンタルワークロードに対して、それぞれヒューマンエラー率の予測解析法であるTHERP手法と人間情報プロセサモデルによるタスク遂行時間の予測によって、簡便に定量評価する方法を構成し、これらを用いる机上評価で各種制御盤の設計代替案の比較検討を行った。
4. 原子力発電所中央制御盤のヒューマンマシンインタフェース設計の検証および妥当性確認を行うための動的検証に用いる事故シミュレータについて、分散型のシミュレータ構成とドリフトフラックスモデルによる気液二相流モデルの適用により、その実時間計算機能の実現と熱流動解析機能の向上を達成し、既存の実験データ等との比較により解析精度を検証した。
5. 原子力発電所中央制御室のヒューマンマシンインタフェース設計の評価基準に関する国際的動向を展望し、その要請である機能設計と詳細設計の2つの段階での検証の反復による評価、人間信頼性解析の組み込み、を反映して、机上評価とモックアップによる動的検証評価を組み合わせた客観評価法、運転員へのアンケート等による主観評価法、で構成される具体的な中央制御盤のヒューマンマシンインタフェース設計の定量的、総合的な評価検証手法を新たに提起した。
6. PWR総合デジタル化システム向け中央制御盤の標準設計仕様の開発において、上述の5.に提起した中央制御盤のヒューマンマシンインタフェース設計の評価検証手法に基づいて、3.による事前の机上評価の実施と、4.により機能向上を行った事故シミュレータを組み込んだ中央制御室モックアップにより実際の原子力発電所運転員を被験者にする動的検証実験、アンケート等による主観評価を実施して、提起した評価手法の有効性を示した。

このように、本研究では、人間機械相互作用の新たな認知工学的評価手法の提起、PWR用プラントシミュレータの機能高度化、および原子力発電所中央制御盤の総合的な設計評価・検証手法の体系化を行った。これらの成果は大規模プラントのヒューマンマシンインタフェース設計評価法の向上に貢献するものと考えられる。

鄭 憲 俊（大澤教授）

「高温超伝導バルク回転子を適用した電動機の駆動機構に関する基礎的研究」

平成17年 3 月 23 日 授与

本論文では、近年特性向上が著しい酸化物系高温超伝導バルク体を対象とし、それを回転子に適用したアキシタル型電動機の駆動機構を実験的・理論的に解明した。主な研究成果は以下のとおりである。

1. アキシタル型高温超伝導バルク電動機モデル機を試作し、回転磁界中における高温超伝導バルク回転子表面の電磁特性を実験的に調べた。その結果、温度低下に伴って強化された磁束ピン止め力が、中心到達磁界を境として、複雑な磁化特性を示すことを明らかにした。
2. 試作した高温超伝導バルク電動機の動作試験（無負荷試験、回転子拘束試験、負荷試験）を行い、その特性を精査するとともに、上記電磁特性との関係を議論した。まず、空隙磁束密度空間高調波成分と無負荷特性の関係から、従来型常伝導電動機と同様に次同期運転が起こることを確認し、高調波成分低減の必要性を示した。次に、Bi-2223バルク電動機の拘束試験結果から中心到達磁界を評価するとともに、同磁界を閾値として、それ以下の磁界領域ではヒステリシストルクが支配的である一方、それ以上の磁界領域では磁束フローに伴う誘導トルクの影響が大きくなることを示した。即ち、高温超伝導バルク電動機の複雑な動作特性を議論する際に、中心到達磁界を指標とすることの重要性を明らかにした。
3. Bi-2223バルク電動機は、77 K程度の高温度領域では、中心到達磁界以上の磁界において誘導電動機的特性を示すが、運転温度低下（磁束ピン止め力増強）に伴ってヒステリシス電動機的特性へと回転機構が変化していくことを示した。一方、磁束ピン止め力の非常に強いSm-123バルク電動機では、77 Kにおいても同期運転が可能であるだけでなく、捕捉磁束電動機（擬似永久磁石電動機）として動作していることを突き止めた。
4. 等価回路を導入して高温超伝導バルク電動機の特性を解析し、測定から評価することが困難である二次側ソリッド回転子の電氣的諸量を詳細に検討した。まず、回転子拘束時の等価回路パラメータを決定すると共に、その妥当性を静止トルク特性測定結果との比較から検証した。次に、回転子拘束時の結果をもとに回転時の等価回路を導出し、同期時および非同期時における回転子側諸量の特性を詳細に議論した。
5. 2次側高温超伝導バルク回転子の電磁特性を3次元有限要素法によって解析し、その結果を可視化すると共に、バルク電動機の静止トルク発生機構との関係を明らかにした。その結果、静止トルク特性は、その立ち上がり時においてヒステリシストルクが支配的であり、同結果が実験結果と定量的に一致することを示した。さらに、有限要素法解析から評価した中心到達磁界は実験値とほぼ一致し、電動機特性評価における同パラメータの重要性を理論的にも明らかにした。

今後は、上記知見をベースに、主として極低温環境下における利用を指向した最適設計を行っていきたい。

城 下 輝 治（中村行宏教授）
「データ配信プロトコルの構成法と性能評価に関する研究」
平成17年3月23日授与

ブロードバンドネットワークの普及により、各種デジタル情報を多数の利用者に届ける放送型の通信が可能になってきた。放送型の通信の基盤技術としてネットワークの中でデータを複製転送するIPマルチキャスト技術が確立され、映像ストリームの一般家庭への配信サービスも開始されている。しかしながら、ファイル等の受信後再利用するデータ配信については、パケット紛失等に対しても回復し、送達確認する信頼性保証の技術が必要となる。本研究は、データ配信の信頼性を保証する高信頼マルチキャストを主要課題として、実用の配信サービスに提供可能なデータ配信プロトコルの実現を目的として行った。本論文には以下の研究内容を含む。

データをネットワークで複製同報するIPマルチキャストを補完し、信頼性保証を実現する高信頼マルチキャストプロトコルについて検討し、ファイル形態のコンテンツの配信サービスを対象として、エンドエンド間のデータ再送制御により確実な同報型のデータ配信を実現する高信頼マルチキャスト通信プロトコルRMTP（Reliable Multicast Transport Protocol）を提案した。パケット単位のモデル解析、及び実装システムの実験評価により、数千対地の大規模なデータ配信についての性能評価を行い、提案プロトコルのスケーラビリティ（規模の拡充性）について論じた。

次に、実用的なデータ配信のために、高信頼マルチキャストのプロトコルの拡充について検討した。数百Mbyteの大容量データ配信のためのRMTPの拡充スキーム、及び、ネットワーク共用のためのフロー制御方式について提案した。実験システムの構築、衛星利用の広域ネットワーク上での評価を通して、提案技術の有効性を検証している。特に普及しているTCPプロトコルとの比較評価やデータフローの共存についての評価結果について述べている。また、ネットワークの大容量化による配信性能への影響について論じた。

さらに、高信頼マルチキャストを応用した大規模なデータ配信システム構築と検証実験、実用サービスへの適用について検討した。配信サービスに不可欠な運用機能としてスケジュール管理を提案し、Megacastシステムの構築について述べている。特にスケジュール管理のために性能評価を応用して、配信時間予測の機能を実現している。更に、流通チェーン店舗への実用配信、学校への配信実験、AMF（Asia Multimedia Forum）での国際配信実験など、同システムの導入事例について述べ、実用性について検証した。また、システム構築、導入を通して、API（アプリケーションプログラムインタフェース）などのプログラム形態についても論じた。

以上の研究は、同報型のブロードバンド通信サービスとして最初に普及した衛星ネットワークを利用して行い、いくつかの実用サービスにも配信システムとして提供した。最近、地上のブロードバンドインターネットでもIPマルチキャストによる情報配信が可能となり、本研究の成果も、地上のブロードバンドネットワークを利用したサービスシステムとしても導入されつつある。インターネット等ではブロードバンドとはいえ、帯域のようなネットワークリソースは多数の利用者で共有されており、安価なサービスを提供することもありネットワークだけではデータ到達は保証されていないベストエフォート型のサービス形態が現状である。このようにネットワークの能力が進展、変遷する中でも、品質の高いエンドサービスの実現のために、エンドエンドでの信頼性保証は普遍的な課題である。

なお、本論文には以上の高信頼マルチキャストの研究のベースとして行った（１）上位層プロトコルの階層構造に着目した評価研究、（２）文書、メールなど多様なデータ構成を対象とする上位層プロトコルのデータ構成についての評価研究も含む。プロトコルの構成、性能に関する研究は、社会のインフラとして通信ネットワークが普及する中で、今後も基盤的な研究としていっそう重要性を増すと考えられる。

薄 良 彦 (引原教授)

「Transient Dynamics and Stability Boundaries in Electric Power System with DC Transmission」

(直流送電を含む電力系統の過渡ダイナミクスと安定境界)

平成17年3月23日授与

近年、電力系統を支える技術的基盤・経済的環境の変化が著しくなっています。技術的には、直流送電やFACTS機器などの電力変換機器の導入が進められています。また、環境負荷低減などを目的として太陽光発電・風力発電・燃料電池などの分散形電源の研究開発が積極的に展開されています。さらに、経済的には電力自由化のような電気事業制度の再構築が進んでいます。これらの変化の下では、電力系統に生起する物理現象が従来とは異なった様相を呈することが予想され、2003年イタリアや北欧などで発生した広域大停電は上記との関連性を指摘されています。このような状況において、寡占供給を前提とした従来の電力工学の枠組でそれらを解析し制御することは困難であり、電気エネルギー供給に関わる新たなシステム論の工学基礎に立ち返った再構築が現在強く求められています。

本論文は、上記背景を踏まえ、電力系統のダイナミクスと安定性を工学基礎の観点から検討することを目的として、直流送電を含む電力系統の過渡ダイナミクスと安定境界に関する研究成果をまとめたものです。上述にもあるように、直流送電の既存電力系統への適用がその高機能性を背景として進められており、交直連系系統の過渡安定問題の解明は系統設計・運用の観点から重要です。例えば、過渡安定問題に関わる系統設計上の制約を緩和するために直流送電を導入した場合、交直連系系統という複合システムとしての過渡安定問題を考えることは運用上必要不可欠です。本論文は、現在運用中の交直連系系統のダイナミクスを記述する2種類の解析モデルに対して非線形動力学の観点から検討を加えることで上記問題に取り組んだものであり、得られた主な成果は以下のとおりです。

1. 非自励動揺方程式系に基づく検討により、直流送電電力に依存してフラクタル安定境界が発生することを明らかにしました。これにより、直流送電の運用に伴い交直連系系統の過渡ダイナミクスに不確定性が現れ得ることを示しました。
2. 非自励動揺方程式系を対象とした安定境界の解析的条件を、非線形動力学で知られたメルニコフの方法に基づき導出しました。本条件により、数値計算を援用することなく解析的に非自励系の安定境界を評価することが可能となりました。
3. 微分代数方程式系に基づく検討により、交直変換器の制御手法および交直系統間の電力均衡を考慮した安定境界の大域構造を明らかにしました。特に、微分代数方程式系を近似する特異摂動系を用いて安定境界の特徴付けを与えると共に、それを数値的に検証しました。本検討により、解析対象とした交直連系系統の安定境界が直流送電の非導入時とは定性的に異なる大域構造を有する可能性を示すと共に、その大域構造が交直連系系統の過渡ダイナミクスに対して支配的であることを明らかにしました。
4. 微分代数方程式系の有する不連続解の検討により、交直連系系統に発生し得る故障条件と安定境界の大域構造との関係を明らかにしました。本結果により、上述した安定境界に関する検討結果が実系統の動作検証に対して有用であることを示しました。

以上本論文により、直流送電を含む電力系統の過渡ダイナミクスと安定境界について新規かつ詳細な知見を得ることができました。現在は上記成果を出発点として、新たなシステム論の構築に向けてハイブリッドシステムの観点から電力系統の解析および制御に関する研究を進めています。最後になりましたが、現在もご指導頂いている先生方、ご議論頂いている研究室構成員各位に厚く御礼申し上げます。

高 井 勇 志 (松山教授)

「High Fidelity and Versatile Visualization of 3D Video」

(3次元ビデオの高精細・多様な映像化)

平成17年3月23日授与

3次元ビデオは、実世界における人や動物などの形、動き、色を3次元の実写映像として記録した新しい映像メディアであり、教育、医療、娯楽、デジタルアーカイブなど様々な分野での利用が期待されている。

本論文は、3次元ビデオの映像化の方法として、撮影画像に忠実かつ高精度に映像化する方法（高精度映像化）および、幾何学的・光学的編集を行うことによって新たな映像効果を加え映像化する方法（多彩な映像化）についてまとめたものである。本研究による成果は以下の通りである。

1. 高精度映像化を実現するテクスチャマッピング法の開発

撮影カメラと表示視点の位置関係を考慮し、頂点色の補間により対象の色を再現する方法（視点依存頂点ベーステクスチャマッピング法）を考案し、完全に正確とはいえない形状に対してもB映像とほぼ同等の画質を持った任意視点映像を生成する方法を開発した。

2. 光学的編集のための光源環境推定法の開発

スケルトンキューブと呼ぶ中空の立方体の参照物体を考案し、その陰影を解析することにより実環境における複雑な光源放射強度を安定に推定する方法を開発した。また、より詳細な光源環境推定のために、差分球と呼ぶ仮想的な参照球体を考案し、その陰影の持つ幾何学的な特徴を利用することによる光源種類・位置・放射強度推定法を開発した。

更に、この2つの方法を組み合わせる事による、実践的な実光源環境の推定方法を開発した。

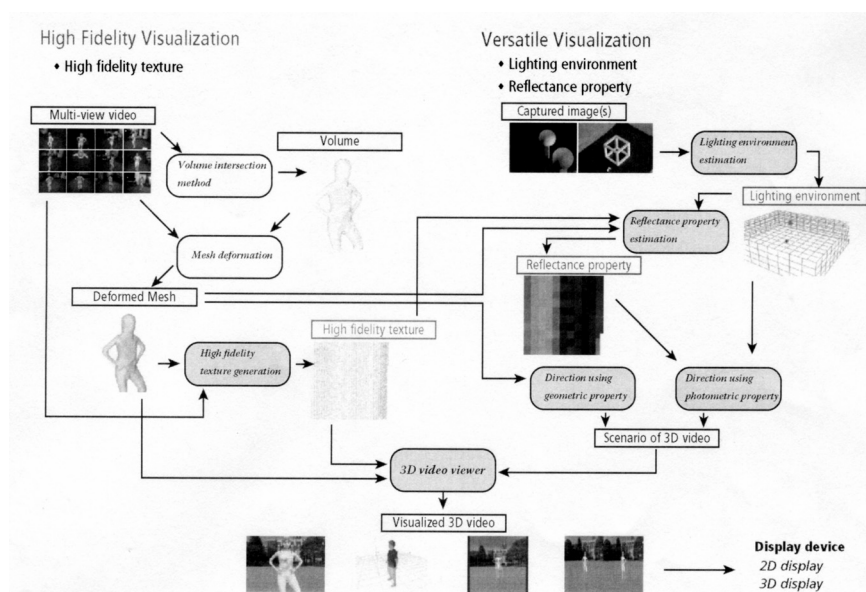
3. 多彩な3次元ビデオ映像化の考案

多彩な映像化を、幾何的編集と光学的編集の2つの視点から捉え検討を行った。その結果、幾何的編集では対象形状を利用したシーン構図決定法を開発し、光学的編集では対象の反射パラメタの推定方法や、撮影時の光源の影響を取り除き新たな光源を加るといった映像化方法を開発した。

4. 3次元ビデオI. ビューワの開発

本論文において開発した技術を実現し、インタラクティブに3次元ビデオを表示できるビューワソフトウェアを開発した。このソフトウェアは、広く用いられている3Dグラフィックス表示ライブラリと、グラフィックスプロセッサを直接操作する命令を駆使することにより、デスクトップパソコンのみならず、比較的性能の劣るノートパソコンにおいてもリアルタイムで3次元ビデオを表示可能なものである。

以上のように、本研究を通じて3次元ビデオの映像化技術は大きく発展し、各種報道機関による紹介や、西陣織工業組合の西陣織会館における着物着付け体験者への3次元ビデオ撮影サービスなどで、広く巷間に知られる存在となった。今後も3次元ビデオ技術に関する研究開発を行い、実社会においてより有効に活用できるものへと発展させていきたいと考えている。



筒 井 弘（中村行宏教授）
「組込み向けJPEG2000 符号化方式の実装法」
平成17年 3 月23日授与

画像を統一的に符号化し取り扱うことを目的として2001年1月に標準化された静止画符号化標準JPEG2000は、高圧縮・高機能の特長とし、幅広い新規画像利用分野への応用が期待されている。そこでは、さまざまな形態や性能の機器、サーバ、ネットワーク、端末が存在し、状況に応じたさまざまな要求仕様のもとでのシステム設計が必要となる。そこで、本論文では、さまざまな組込み機器における実装上の制限及び、アプリケーション上の要求に応じて、それに最適な実装を容易に実現可能なデザインフレームワークを提案する。概念図を図1に示す。本デザインフレームワークを用いれば、プロセスやチップサイズなどの設計上の制限と解像度や処理速度などの要求性能からそれに最適な実装が得られる。

ここで、JPEG2000の符号化手順について簡単に説明する。入力画像はまずタイルと呼ばれる矩形領域に分割され、各タイルは独立に離散ウェーブレット変換（DWT;Discrete Wavelet Transformation）される。DWTが施された画像は量子化され、符号化ブロックと呼ばれる矩形領域に分割される。符号化ブロックはEBCOTと呼ばれる処理によって圧縮される。復号化はこの逆の手順となる。これらの処理のうち最も処理に時間を要するのはEBCOTおよびDWTである。提案デザインフレームワークでは、このEBCOTおよびDWTに関して、ソフトウェア実装、プロセッサに専用命令を追加して高速化したソフトウェア実装、専用ハードウェア実装が用意されており、これらを機器やアプリケーションの要求、設計上の制限などに応じて選択的に用いる。特に高い性能が要求される場合は複数の専用ハードウェアモジュールを搭載することも可能である。

一方、タイル分割は、符号化の並列化及びDWTに要するローカルメモリ量の削減という観点では有効であるが、図3のように伸張画像においてタイル境界（タイルノイズ）が目立つという問題があり、タイル分割は高画質が求められる場面では望ましくない。しかし、タイル分割を行わずに画像全体に対してDWTを適用する場合、莫大なローカルメモリ量を要する。そこで、本論文では、タイル分割を行わず、画像全体に対してDWTを行う際に必要となるローカルメモリ量を削減する手法を提案する。本研究成果をベースとし、株式会社メガチップスLSIソリューションズと共同で、タイル分割を行わないシステム構成のJPEG2000コーデックLSIを開発した（図2）。本JPEG2000コーデックLSIは6400万画素といった超高解像度画像を処理する世界初のLSIである。

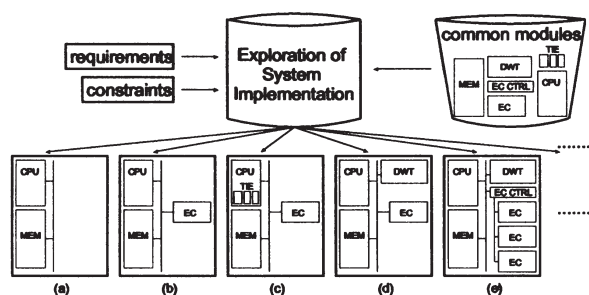


図1. JPEG2000符号化システムのためのデザインフレームワーク（概念図）

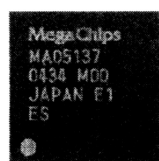


図2. ノンタイリングJPEG2000コーデックLSI



タイル分割無し タイル分割有り

図3. タイル分割による画像の劣化

根 来 佑 樹（鈴木教授）

「Ion Implantation and Embedded Epitaxial Growth for 4H-SiC Power Electronic Devices」

（4H-SiC パワーデバイスのためのイオン注入と埋め込みエピタキシャル成長）

平成17年 3 月23日授与

最近の著しい技術革新はエレクトロニクス発展によるところが大きい。そのハードウェアの中心が半導体であり、進歩し続ける情報技術の中心的役割を担っている。一方で、全世界規模で進むと予測される高度情報化社会の進展は、エネルギー消費量の増大を伴う。化石燃料からの脱却とエネルギーの高効率利用を図るためには、制御性や効率といった点に優れる電気エネルギーの有効利用が望まれる。電気エネルギーを高効率で制御するパワーエレクトロニクスの中心がパワー半導体デバイスである。現在、パワーデバイスのほとんどが Si を用いて作製されているが、プロセス技術の成熟により、その性能は Si の物性値で決まる理論限界に到達しつつある。そこで、パワーデバイスのさらなる性能向上のため、Si に代わる新材料の開発が期待されており、SiC（silicon carbide: 炭化珪素）が最も注目されている。SiC はバンドギャップが約 3 eV と大きく、絶縁破壊電界が Si の約10 倍であるために、高耐圧かつ超低損失のパワーデバイスの実現が可能である（図1 参照）。そこで本研究では、SiC を用いたパワーデバイスの究極である4H-SiC 超接合デバイスの実現のためのイオン注入の基盤技術確立と埋め込みエピタキシャル成長の基礎検討を目的とした。具体的な課題は、高ドーズイオン注入領域（n 型および p 型 SiC）の低抵抗化、中ドーズ量イオン注入された p 型不純物の電氣的振る舞いの制御、埋め込みエピタキシャル成長による超接合構造の実現である。上記課題のうち、埋め込みエピタキシャル成長以外はほぼ全ての SiC デバイスの不可欠な基盤技術であり、技術の確立と電子物性の解明はデバイス性能の大幅な向上を可能にする。また、埋め込み成長により実現を目指す超接合構造を SiC パワーデバイスに適用できれば、金属接点級の高耐圧電子スイッチが実現できる。しかし構造が特異なため、従来の技術を転用するだけでは実現が非常に困難であるため、埋め込み成長という全く新しい方法で実現を目指した。

高ドーズイオン注入に関しては、著者ら自ら開発したカーボンキャップ・アニール法を用いることで、SiC 表面をナノレベルで平坦に保ちながら極めて低抵抗な領域の形成に成功した。中ドーズイオン注入においては、電氣的に活性なアクセプタ型不純物の空間分布を精密に制御し、中ドーズ注入に最も適した p 型不純物がアルミニウム（Al）であることを実験的に証明した。超接合構造実現のために埋め込みエピタキシャル成長では、高いアスペクト比のトレンチ内部に SiC を化学気相成長させることに成功した。この成長を促進するのは反応種のマイグレーションであることがわかった。また、トレンチ底部と側壁部では、アクセプタやドナーなど不純物の取り込み量が異なることもわかった。

このように、イオン注入に関しては高性能 SiC パワーデバイスを実現するに十分な基盤技術を確立することができた。一方、埋め込み成長で超接合構造を実現するという全く新しいアプローチについては、いくつか新たな課題が見つかったものの、実現に向けての大きな一歩が踏み出せたと言える。

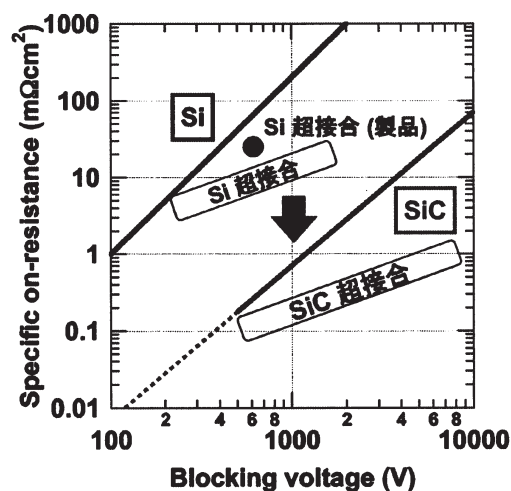


図1. SiデバイスとSiCデバイスのオン抵抗と耐圧の関係

延 原 章 平 (松山教授)

「Deformable Mesh Model for 3D Shape and Motion Estimation from Multi-Viewpoint Video」
(多視点映像からの3次元形状・運動復元のための弾性メッシュモデル)

平成17年3月23日授与

能や日本舞踊では、踊り手の姿勢や動作に加え、袖や裾の微妙な動きが重要な意味を持つと考えられ、その分析・記録のためには、複雑な運動をする対象全体に渡る精密な3次元形状と運動を同時に復元する必要がある。本論文は、多視点ビデオからの対象の3次元形状・運動復元という問題に対して、シルエット、テクスチャ、形状の滑らかさ、素材の剛性度、局所運動情報、向き合った表面間の距離など多様な情報を統合し、詳細な3次元形状と運動を同時に計算することができる弾性メッシュモデルについてまとめたものである。

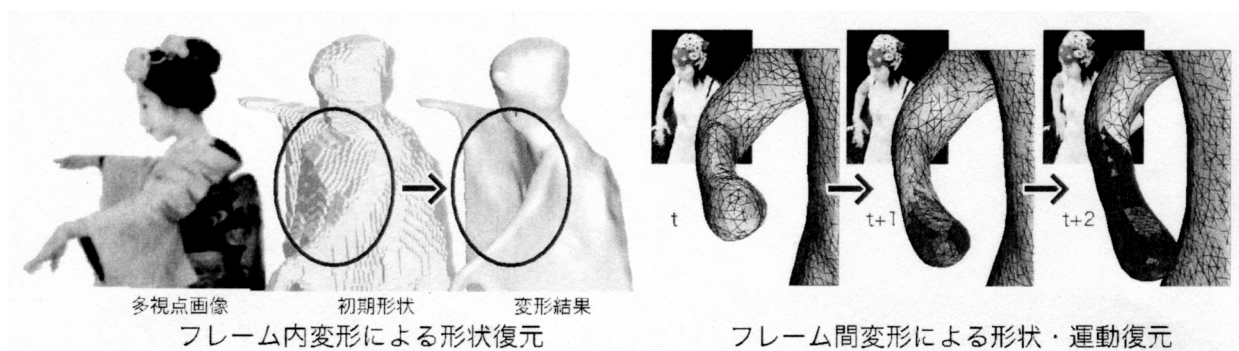
本研究では、“ある時刻の対象形状を表したメッシュモデルを次の時刻の対象形状へと変形させることができるならば、それは次の時刻の対象形状と、時刻間の変形、すなわち運動情報を復元したことになる”という点に着目し、このような変形を実現するために対象形状および運動が満たすべき制約条件をメッシュを構成する各頂点に作用する力として表現することで一つの計算の枠組に統合し、各制約条件を満たす状態へとメッシュモデルを変形する手法を提案した。提案する弾性メッシュモデルの変形アルゴリズムはフレーム内変形用とフレーム間変形用の大きく2種類に分けることができる。前者はある瞬間の対象形状を多視点画像から高精度に求めるためのモデルであり、全体の基本となる。後者は前者を拡張して時刻間での形状の変化、すなわち対象の形状と運動を同時に多視点動画画像から求めるためのモデルである。

フレーム内変形用弾性メッシュモデルでは、対象の形状を表現するモデルとしてframe-and-skinモデルを提案した。このモデルは多視点シルエット画像から視体積交差法で求められた粗い3次元形状を初期値とし、

- (1) 復元される形状を各視点に投影すると撮影像と一致すること、
- (2) 対象表面に投影されるテクスチャが複数の撮影画像間で一致すること、
- (3) 表面形状が滑らかで連続であること

を制約条件として対象の正確な3次元形状を復元する。論文ではシミュレーションおよび実画像を用いた実験によって、視体積交差法では原理上復元できない凹部についても正確な3次元形状が復元できることを示した。

フレーム間変形用弾性メッシュモデルでは、前述のフレーム内変形モデルを拡張し、ある時刻の対象形状を表したメッシュを次の時刻の形状へと変形することで、次の時刻の形状と時刻間の運動情報を同時に復元する。ここで初期値として用いるある時刻の対象形状は、先に述べたフレーム内変形によって求める。また運動に対する制約条件として、対象を剛体運動を行う部分と自由変形を行う部分に分割し、それぞれの運動モデルに応じた変形を行うことを仮定した混合変形型弾性メッシュモデルを提案した。論文ではシミュレーションおよび実画像を用いた実験によって、モーションキャプチャシステムでは得られない、詳細な運動情報と対象形状が同時に求めることができることを示した。



横 山 光 (野田教授)

「2次元正方格子フォトニック結晶面発光レーザーに関する研究」

平成17年3月23日

本論文は、2次元フォトニック結晶レーザーの動作特性を明らかにすることを目指して行なわれた研究成果を纏めたものである。2次元フォトニック結晶面発光レーザーは、フォトニックバンド構造のバンド端における光の定在波状態を共振器として用いるもので、大面積でコヒーレント動作が可能であるという優れた特長をもつ。しかしながら、これまで、フォトニック結晶レーザーの共振器特性を詳細に解析した例はなかった。そこで、本研究では、この新しい半導体レーザーであるフォトニック結晶面発光レーザーの動作の根本となるバンド端での共振作用を解析することで共振器特性を定量的に示し、さらにフォトニック結晶構造そのものの制御により、発振特性までも制御可能なことを示したものである。本研究の内容は次のように纏められる。

1. 2次元フォトニック結晶面発光レーザーの発振原理について定性的に述べた後、平面波展開法や時間領域有限差分法などの数値解析法を用いて定量的な解析を詳細に行った。その結果、発振点を与えるバンド端が複数存在することを明らかにした。これらの複数の発振可能なバンド端における電磁界分布や、共振器としての性質、すなわち Q 値を定量的に導き、バンド端によってその性質が大きく変わることを示した。さらに、各バンド端における定在波状態と、面発光パターンの関連等を明らかにし、バンド端に応じて Q 値が異なる理由を明らかにした。また、様々なデバイスパラメータと、共振器特性との関連を明らかにし、デバイス設計のための指針を与えることに成功した(図1参照)。

2. 続いて、フォトニック結晶構造を適切に設計することで、直線偏光発振可能な構造の探索を試みた。フォトニック結晶内の電磁界分布は、フォトニック結晶構造の幾何学的な対称性に強く依存していることに着目して、様々な対称性をもつフォトニック結晶構造に対して検討を行い、直線偏光発振が可能となる格子点構造がいくつか存在することを理論的に導き出した。最終的に、最適な格子点構造は楕円形状であることを結論付けた。

3. 2の検討で導き出した楕円形状格子点をもつ正方格子フォトニック結晶面発光レーザーを実際に作製し、評価を行った。まず、フォトニック結晶を、活性層近傍に形成するための諸条件を実験により明らかにした後、デバイスを作製し、 $300\mu\text{m}$ ϕ 以上と大面積面積であっても、縦横単一モードかつ直線偏光発振をしていることを実証することに成功した(図2参照)。

以上、本論文では、2次元フォトニック結晶面発光レーザーの動作特性の解明と偏光をも含めた発振モードの制御を世界に先駆けて示すことに成功した。

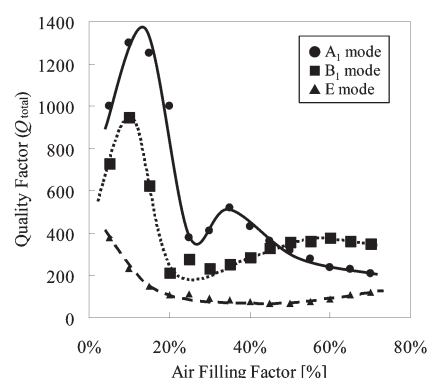


図1. 格子点のフィリングファクターと各モードの Q 値の関係

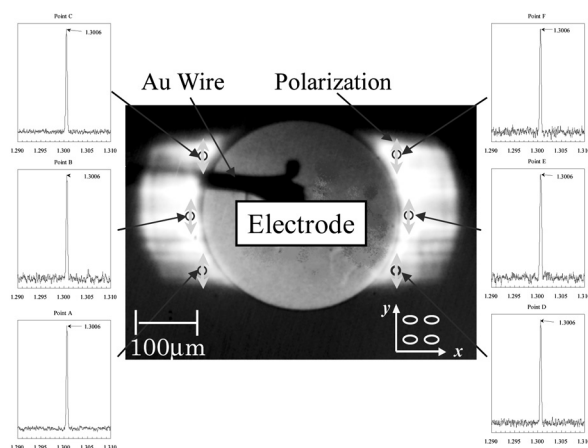


図2. 偏光制御されたデバイスの発振の様子

赤 羽 良 啓 (野田教授)

「2次元フォトニック結晶高Q値光ナノ共振器とその応用」

平成17年5月23日授与

光の波長程度の大きさである光ナノ共振器は、その光閉じ込めの強さを表すQ値が高くなると、波長フィルタやセンサー、バイオ応用、光量子コンピューティングなど様々な工学分野への展開が可能になると期待されている。しかしながら、光の放射損失は一般には共振器サイズに反比例するため、高Q値光ナノ共振器を実現することは困難であると考えられてきた。本論文は、そのQ値を大幅に向上できる決定的な指針を新たに見出すことで世界最高値を実現し、さらに、その応用として超小型波長フィルタの高機能化を実証するに至ったものである。本研究の内容は次のように纏められる。

1. 2次元フォトニック結晶光ナノ共振器内の光は、フォトニック結晶面内方向にはフォトニック結晶によるブラッグ反射で完全に閉じ込められるが、垂直方向には共振器-空気間の屈折率差による全反射で閉じ込められる。全反射条件は必ずしも満足しないため、その条件を満たすことが高Q値化の鍵となる。全反射条件を満たさなくなる理由について、3つの空気孔を直線状に埋めた構造の共振器(図1参照)で考察した結果、共振器端部での反射が強く、電界強度が急激に減衰するためであることを突き止めた。その知見から、「光ナノ共振器の高Q値化には、共振器形状で決まる電界分布の包絡線関数を、変化が緩やかな関数(最も理想的にはガウス分布)に近づけることが不可欠である」という重要な設計指針を新たに見出すことに成功した。

2. 上記指針に従って、共振器端部での反射を緩やかにする検討をした結果、共振器端部に位置する空気孔をほんの少しシフト(図2(a),(b)参照)することで反射が緩やかになり、包絡線関数がガウス分布に近づくことを明らかにした。さらに、共振器端部付近の6つの空気孔をシフトした共振器では、10万という従来よりも2桁高い世界最高値を実現した(図2(c)参照)。一方、モード体積はほぼ不変であること、広い共振周波数間隔(60nm以上)をもつことも示した。

3. 上述の高Q値光ナノ共振器を超小型波長フィルタに応用した。特に、今回非常に高いQ値を実現したことにより、高分解能・高効率化に成功した。一方、必須のフィルタ特性の一つにフラットトップ応答が挙げられるが、その実現には共振器間の相互結合を利用することが有効である。本論文ではその理論を確立した後、高次フィルタ設計に適用することで、フラットトップの応答特性をもつ超小型波長フィルタを実現した。

以上、本研究では光ナノ共振のQ値を大幅に向上する設計指針を新たに見出し、世界最高値の光閉じ込めをもつ2次元フォトニック結晶光ナノ共振器の実現と、その応用により良好な特性をもつ超小型波長フィルタの実現に成功した。

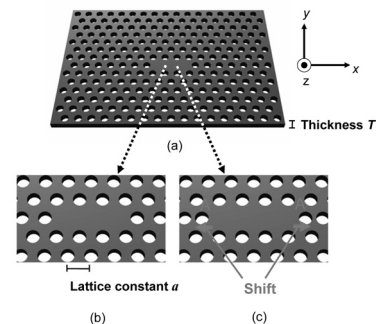


図1. 2次元フォトニック結晶スラブ中の共振器 (a, b) と空気孔シフト (c)

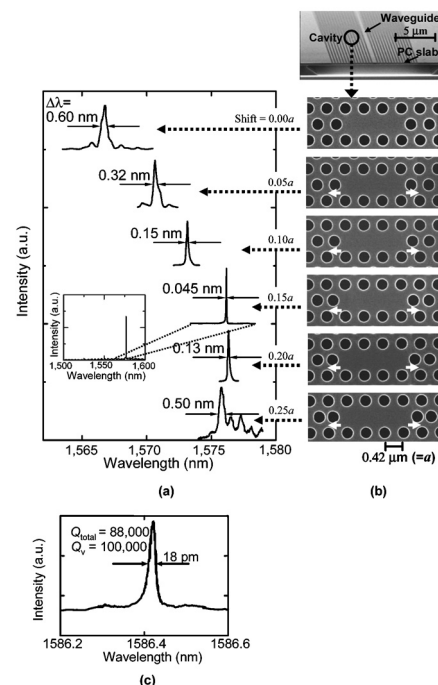


図2. 空気孔シフト共振器の放射スペクトルおよびSEM像の例

リム アズマン オスマン（吉田教授）

「Power and Rate Control in Wireless Ad Hoc Networks」

（無線アドホックネットワークにおける電力とレート制御）

平成17年5月23日授与

パソコンを購入するのが容易になったのと、IEEE802.11a/b/g に代表される無線通信技術の著しい発展に伴い、社会はどんどんユビキタスコンピューティングの時代に近づいている。ユビキタスコンピューティングのひとつの局面として、人々がどこに行っても自分のパソコンを持ち運び、移動しながら遠く離れた情報にアクセスするために、パソコンを使おうとし始めていることが挙げられる。このようなユビキタス環境を実現するために、マルチホップ無線ネットワークはひとつの重要な技術である。マルチホップ無線ネットワークは、固定のインフラを用いずに、互いに通信することができる移動または固定ノードの集合によって形成されるネットワークと定義される。

このネットワークでは、ノード間の通信はCSMA/CA（Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance）として知られているDCF（Distributed Coordination Function）モードと呼ばれるIEEE802.11のMAC（Medium Access Control）プロトコルの基本的なアクセス方法で実現できる。IEEE802.11のMACプロトコルにおいて、電力とレート制御のアルゴリズムを用いて、スループット劣化を軽減するMACプロトコルのデザインと分析においてある。本研究では、広範囲のチャネル条件に応じた電力とレートの選択を促進することによって、MACプロトコルはいくつかの変調方式を利用するように拡張された。計算機シミュレーションによって、これらのMACプロトコルの性能についての分析は本研究で提示された。得られた主な研究結果は以下の通りである。

（1）無線アドホックネットワークにおいて、パワー制御な機能プロトコルに関する問題が検討された。メディアアクセスをより効率的に行うために、MACプロトコルを送信電力に応じて変えるべきであることが議論された。電力制御プロトコルを用いると、エネルギー節約に大きな利点があることが示された。電力制御メカニズムの有効性が計算機シミュレーションにより明らかになった。

（2）それぞれのノードの適応的な送信電力を計算することにより、エネルギーの保存を実現するPAMAC（Power Adapted Medium Access Control）方式はパケットベースに基づいていると主張された。CSMA/CA（Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance）プロトコルと比べて、ノードあたりのスループット効率とエネルギー消費量の改善は明らかになった。数値結果により、PAMACがノードあたりのスループット効率は29.7%上昇し、またノードあたりのエネルギー消費量も83%の大幅な減少をはかれることが示された。

（3）IEEE802.11標準の物理レイヤーのマルチレート機能は伝播モデルに依存することが示された。MACレイヤーによる中継はネットワークレイヤーによる中継よりたくさんの利点があると議論された。無線アドホックネットワークにおいて、マルチホップ概念を用いると大きな効果を得ることが示された。マルチホップ概念の有効性は理論解析によって証明された。

（4）もし直接接続は低い品質と低いレートを持つことであれば、中継概念によって、2PSP（2-Hop Path Selection Protocol）は直接接続よりもっと高速にデータパケットを送送できることが主張された。rDCF（Relay-enabled Distributed Coordination Function）プロトコルと比べて、スループット利得とエネルギー節約の改善が明らかになった。ノード数は100の場合、2PSPは約10%のネットワークのスループット改善を得られることが数値結果により示された。ノード数は500の場合、その割合は次第に約13%まで増える。

河 原 大 輔（松山教授）

「Automatic Construction of Japanese Case Frames for Natural Language Understanding」

（自然言語理解のための日本語格フレーム自動構築）

平成17年7月25日授与

文章で表される内容は、図1のように、もともとネットワーク的な複雑な関係性をもっている。しかし、それを1次元文字列の文章として表現する際に、人間にとって明らかなことは伝達の効率性から明示的に表現されない。このような関係を復元することが、計算機による自然言語理解の重要なステップとなる。

文章中の明示されない関係として、例えば図1には「リンゴ→売り出された」という関係がある。このような関係を解析するには、文法程度の知識では不可能であり、「{会社、メーカー、店、…} から {商品、品、野菜、…} が売り出される」のような常識的な知識が必要となる。このような知識は、語がどのような語と関係をもつかという関連性に関するものであり、格フレームと呼ばれる。これまで、重要な用言の典型的な格フレームについては、人手でつくるということが試みられてきた。しかし、用言の数は膨大であり、そのような関係を人手で書き尽くすには非常に大きなコストがかかる。さらには、日々生まれてくる新語や、ドメインごとの専門用語が存在するため、人手による格フレーム作成には限界がある。

本研究では、大規模テキストを自動的に解析することによって格フレームを構築する手法を提案する。自動解析としては、現在のところ実用的な精度を実現している構文解析を用いることができるが、単純に大規模テキストに構文解析を施して、その解析結果を利用するだけでは、幅広い関係を含むような格フレームを得ることはできない。なぜなら、構文解析から得られる関係は当然構文関係でしかなく、それ以上の関係の情報は文章理解を行わないと得られないからである。つまり、文章理解には格フレームが必要であり、一方、格フレーム獲得には文章理解が必要というデッドロックに陥ってしまう。そこで、本研究では、格フレーム構築と文章理解を漸進的に進めることにより格フレームを構築することを考案した。まず、構文解析を行うことによって、「が」「を」などの格助詞が付属している基本的な用例を収集し、第一段階の格フレームを得る。次に、その格フレームを利用した格解析を行うことによって、係助詞句「～は」や被連体修飾詞に関する関係を得、格フレームを高度化する。

このような漸進的处理によって、新聞記事約2600万文から格フレームを構築した。構築された格フレームには、約18,000個の用言が含まれており、1用言あたりの平均格フレーム数は約17.9個である。この格フレームを人手および構文・格・省略解析を通して評価を行い、その結果、高精度かつ実用的なものが構築されていることを確認した。

なお、本研究は、黒橋禎夫先生（当時、東京大学大学院情報理工学系研究科助教授、現京都大学大学院情報学研究科教授）の指導のもとで行った。お世話になった先生方に感謝の意を表したい。

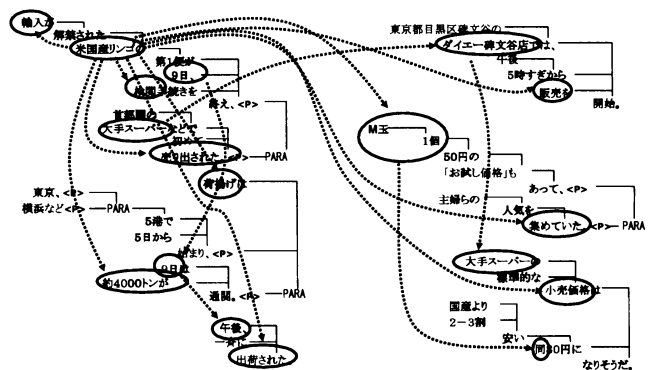


図1. 文章中の様々な関係性

矢 野 一 人 (吉田教授)

「Study on CDMA Non-Linear Interference Cancellers with Multi-Antenna Reception」

(複数アンテナ受信を用いたCDMA非線形干渉キャンセラに関する研究)

平成17年7月25日授与

第3世代移動通信システム (IMT-2000) である W-CDMA 方式や cdma2000 方式の基となる DS-SS-CDMA (直接拡散符号分割多元接続) 方式のユーザ収容能力は他局干渉量に依存するため、その特性改善には他局干渉抑圧が必須である。レプリカ減算型干渉キャンセラ (RSNIC) は他局信号の伝搬路推定値および送信系列の仮判定値から受信予測値 (レプリカ) を生成し、受信信号から減算することにより他局干渉を抑圧する非線形干渉キャンセラである。RSNIC は比較的簡易な構成ながら良好な特性を有することが知られているが、ユーザ数が超過すればその特性は大きく劣化する。

そこで、RSNIC の大幅な特性改善のために、RSNIC と複数アンテナ受信技術と組み合わせる受信機に関する検討がこれまで複数行われている。しかしながら、個々の特性は別々に評価されているため、いかなる環境においてどのような構成の受信機が良好な特性を示すかはこれまで明らかにされていない。

以上の研究背景から、本論文では複数アンテナ受信 RSNIC である以下の 2 種類の受信機に関して、特性比較および特性改善法の検討を行っている。ひとつは受信アンテナ間の線形合成後に非線形干渉キャンセルを行う線形-非線形受信機であり、具体的にはアダプティブアレーアンテナ (AAA) と RSNIC とを縦列接続する方式である。これは AAA におけるアレーアンテナの適応的指向性制御により所望波の受信 SINR を改善し、後段の RSNIC をより効果的に機能させることを目的としている。もう一方は非線形キャンセル後にアンテナ間線形合成を行う非線形-線形受信機であり、具体的には空間ダイバーシチ受信を行う RSNIC を検討対象としている。これは、各受信アンテナ毎に RSNIC を作動させて他局干渉を抑圧し、その後各アンテナの出力を用いて空間ダイバーシチ受信を行う方式である。

本論文では最初に、受信機が半波長間隔 6 素子アレーアンテナを有し受信アンテナ間のフェージング相関が大きい場合の両受信機のビット誤り率特性の比較を、可変拡散率 DS-SS-CDMA 上りリンクおよびマルチパスレイリーフェージング伝搬路を仮定した計算機シミュレーションにより行っている。シミュレーション結果から、多遅延波・低 SNR といった伝搬路推定が良好に行えない環境では AAA と RSNIC の縦列結合受信機が良好な特性を示し、少遅延波・高 SNR 環境においては空間ダイバーシチ受信を行う RSNIC の方が良好な特性を得ることを明らかにしている。

複数受信アンテナシステムの特性は受信アンテナ間あるいはマルチパス間の空間相関に大きく依存する。そこで、本論文ではアンテナ素子間隔やマルチパスの最大到来角度差を変化させた場合に関しても両受信機の特性比較を行っている。シミュレーション結果から、空間ダイバーシチ受信を用いた受信機は相関特性の変化に対して十分に適応できるのに対し、AAA を用いた受信機は大きく特性が劣化する事を明らかにしている。

最後に、複数アンテナ受信 RSNIC の特性改善のため、干渉除去抑制係数 (CMF) と呼ばれるレプリカ重みの制御方式に関して検討を行っている。CMF は誤って生成されたレプリカの減算による特性劣化を軽減するために、レプリカに乗じる 1 以下の正の値であり、これまで仮判定に起因するレプリカ誤りへの対策法がいくつか考案されている。しかし、複数アンテナ受信をおこなう RSNIC では伝搬路推定誤差がレプリカ誤りの主要因となることから、これを考慮した係数制御方式が必要であると考えられる。そこで、本論文では伝搬路値の推定誤差を予測し、その予測結果から CMF を制御する方法の提案を行っている。

シミュレーション結果から、本手法適用した空間ダイバーシチ受信 RSNIC は、特に多遅延波・多アンテナ受信時において、従来の CMF 制御方式と比較して低演算量かつ良好な特性が得られることを明らかにしている。

小 池 俊 昭（吉田教授）

「Space-Time-Frequency Signal Processing for Spectrum-Efficient Multiple-Antenna Wireless Transmission Systems」

（周波数利用効率に優れた複数アンテナ無線伝送システムのための空間時間周波数信号処理）

平成17年 9 月 26 日 授与

研究内容：複数の送受信アンテナを用いるMIMO（Multiple-Input Multiple-Output）無線通信技術は周波数利用効率の向上・高速無線伝送の実現・システム容量の増大を可能にする次世代の無線伝送方式として注目を集めている。MIMO多重伝送においては、複数の同一周波数信号を受信機側の信号処理により分離・検出する必要がある。一般に低演算量で実現できるMIMO受信機は所要の通信品質・ビット誤り率を満たすための所要電力が大きくなるため、システム容量の低下を招く恐れがある。そのため、検出能力に優れるとともに低演算量で実現できる実時間アルゴリズムの開発が実用上必須となる。本論文ではMIMO伝搬路における空間・時間・周波数の特徴を利用した低演算量でありながら通信品質特性に優れた受信信号処理に関する研究報告を行った。

研究成果：本論文の主要な研究成果は次の通りである。

- ・トレリス符号化変調の適用により見通し内伝搬におけるMIMO伝送の特性劣化が軽減されることを室内実験により明らかにした。また、見通し外伝搬においては空間インタリーブの適用が最尤系列等化器にとって演算量・特性の面で優れた効果を発揮することが示された。
- ・MIMO特有の送信アンテナ空間を利用した自動再送方式を提案し、見通し内外において高い伝送速度が実現できることを明らかにした。さらに、受信アンテナ空間を利用することで最尤系列推定の生き残り状態毎に行列分解を適用し低演算量化を行う手法を提案し、大きな特性劣化を招くことなく演算量を低減できることを示した。
- ・広帯域伝送時に有効である周波数領域等化を繰り返し適用する手法を検討し、低密度パリティ検査符号の利用により、低演算量で優れた誤り率特性が実現できることを示した。また、周波数領域整合フィルタを導出し、さらなる低演算量化・特性改善が可能であることを示した。
- ・複雑な行列演算を利用せずに低演算量化を実現する最尤受信機の提案を行った。さらに実装に向けた簡易演算法を導出しハードウェア試作を行った上で、ギガビット台の高速処理を実現する単一チップの最尤受信デバイスが構築可能であることを明らかにした。
- ・最尤探索空間の解析を行い、高いダイバーシチ次数が得られる場合に局所探索を行う近似アルゴリズムが有効である可能性を示した。さらにニューラルネットワークや山登り探索を行う近似アルゴリズムの有効性を示し、遅延パスダイバーシチを利用した広帯域伝送に適した近似最尤繰り返し等化手法を提案した。
- ・近傍の端末が協力して分散MIMO中継を行う方式に関して検討し、リンク容量の増大化を図る上で時空符号・遅延ダイバーシチ・空間多重が有効であることを明らかにした。さらに車車間通信システムにおける適用効果を示した。

研究所感：人一人が成し遂げられる処理量には限界がある。限られた時間の中で四苦八苦しながらも他にはない新しい発見をする作業が研究である。信号処理の研究では先人の知恵を拝借し是を駆使して後生に残すべき技術を生産するという純粋な学術的価値が見出せる。個人の能力限界とは対照的に、解法が無数に存在するという科学の無限の自由さに好奇心を憶える。好奇心故に足下に転がっている感動にも気付かずに隣の獲物に憧憬を抱き得る。抽象的理学に専念しては実用的工学に移りし、工学に没頭しては自然学によく想いを馳せる。動機保持には幾分のバランスも重要そうである。倫理などは追々思慮することにして、若輩者らしく迷いながらも一寸の信念と好奇心を持って無邪気に夢を語れる一人になりたいものだと願う。…などと戯れたる次第。

山 本 高 至 (吉田教授)

「Capacity and Spectral Efficiency of Multihop Radio Networks」

(マルチホップ無線ネットワークの容量と周波数利用効率)

平成17年9月26日授与

端末が自律分散的に無線通信を行う無線アドホックネットワーク、さらに広域エリアをカバーするマルチホップ無線ネットワーク、既存の移動通信システムと融合させたマルチホップセルラシステムと呼ばれる無線通信システムは、日常生活のあらゆる局面でネットワークの恩恵が享受できる、ユビキタスネットワークを実現する技術の一つの候補として注目を集めている。これらの無線通信システムにおいては他局を中継局として用いる無線マルチホップ伝送の適用により、第一にエンド端末間の通信距離拡大が図られている。本論文の目的は、無線マルチホップ伝送の導入が附随的にもたす、個々の伝送のスループットないしシステム容量への影響を考慮の上で、これらマルチホップ伝送を用いる無線通信システムの特性評価を行い、マルチホップ伝送が有効に働く条件を明確化することにある。

まず、通信距離はマルチホップ伝送のみならず、マルチホップ伝送と比較すれば容易に実装可能なレート制御によっても拡大可能であることに着目し、マルチホップ伝送とレート制御の効果の比較、ならびに適応変調およびシンボルレート制御と併用した無線マルチホップ伝送のスループットの評価が行われている。加えて、無線通信システムにおいて大きな指標のひとつである単位面積あたりのスループットで定義される面的周波数利用効率の特性が評価されている。その結果、干渉制限下におけるマルチホップ無線ネットワークの面的周波数利用効率と個々の通信のスループットの間にはトレードオフの関係があることが示されている。

次に、第3世代移動通信で用いられているような、高精度の送信電力制御が要求されるマルチセル環境CDMA（符号分割多元接続）セルラシステムにおいて、マルチホップ伝送を導入した場合の加入者容量が評価されている。特に、セル内ないし他セルからの干渉電力が容量を決定するCDMAセルラシステムにおけるマルチホップ伝送の導入は、送信電力制御のためセル内干渉を増加しうるが、他セル干渉を大きく低減しうることが示されている。また、非所望局に及ぼす上りリンク干渉量を、ジオメトリと呼ばれる下りリンクの測定情報より推定する方式、ならびに干渉低減量を最大化する経路選択基準が提案されている。また、この干渉低減効果を加入者容量増加に結びつける経路選択法により、高負荷時においても容量を増大しうることが計算機シミュレーションにより示されている。

加えて、無線アドホックネットワークにおいて、各々の端末が高いスループットの実現を目的として自律分散的に経路選択を行う状況の解析が、ゲーム理論の導入により試みられている。まず、他端末の決定経路以外のあらゆる情報を各端末が持っていたとしても、端末の配置によっては最高のスループットを実現する経路を一意に定められない場合があることが示されている。また、結果として得られるスループットと、集中制御により実現しうる容量との比較が行われており、各端末の送信電力が小さい場合には分散制御によっても容量に近いスループットが達成可能であることが計算機シミュレーションにより示されている。

周 楊 平 (吉川榮和教授)

「プロセスプラントの運用支援システムのためのソフトコンピューティング手法に関する研究」

平成17年9月26日授与

発電所および関連企業は、持続可能な環境および社会を守るために、より環境にやさしいエネルギーシステムを確立する重要な役割を果たしている。本新しいソフトコンピューティングアプローチはプロセスプラントの利用寿命の延長、シャット・ダウン時間の短縮および修理と維持費の削減のために、故障診断、アラーム分析および監視コントロールに望ましい方法論およびツールを供給する。これにより、産業プラントの効率、安全性および収益性の改善が期待できる。

本研究では、はじめに、リアルタイム信号及び不完全な知識の状況に対し、ファジィ論理と遺伝アルゴリズムを利用し、多知識を統合する強健な診断方法を提案した(図1)。また、遺伝アルゴリズムの染色体をエンコード・デコードする新しい方法を提案した。この染色体が診断結果の様々な可能性をシミュレートする。そして、交差、変異、および選択のプロセスにより進化する。複合型知識(If Then規則、ミニ知識木のモデルおよび故障の兆候)の貢献を統合し、遺伝アルゴリズムの染色体のフィットネスを計算するためにファジィな統合の方法を適用した。ファジィ遺伝フレームワークに基づくトライアル故障診断システムを、米国のShearon Harrisユニット1(950MWの原子力発電所)の実物大のシミュレータの上に開発し、検証した。

次に、実際のプロセスシステムに関して、マルチレベルフローモデルの因果関係分析に基づいて、アラームの検証、兆候の調査および故障識別の3段階で異常を診断する方法を提案した(図2)。そして本診断方法を、2つのプロセスシステムを対象に検証した。1つは、実際の過程データを利用したマイクロガスタービンシステムの「エンジン始動失敗」、「バッテリー直流バス過電圧」および「直流/交流インバータフェーズA過電圧」の故障診断を対象とした。もう1つは、原子力発電所のそれぞれ異ったサイズと異った位置の「冷却材喪失事故」、「蒸気発生器伝熱管破損」および「主蒸気管破裂」を含む19件の事件を、RELAP5コードの利用により、コンピュータ・シミュレーションで診断を行った。

最後に、本研究では統合グラフィカルインターフェースシステム(マルチレベルフローモデルスタジオ(MFMS: Multilevel Flow Models Studio))を提案した(図3)。本システムは、プラントをモデル化・モニタリング・診断・操作指示するためのアプリケーションの作成を支援する。アプリケーションを生成する汎用システムを利用して、様々なプラント用のオペレーション支援システム(プラントのモニターと診断およびオペレーターに操作指示を供給するシステム)を開発し、保守し、改善することができる。本研究では、プロトタイプのMFMSシステムを、Visual C++、DirectX SDK、MSXML Parser SDKおよびMicrosoft Agent SDKを用いて開発し、マイクロガスタービンシステムのサポートシステムの開発に適用した。

参考文献

- [1] Yangping Zhou, Hidekazu, Yoshikawa, Wei Wu, Ming Yang, Hirotake Ishii. "Modeling goals and functions of micro gas turbine system by multilevel flow models". Transaction of Human Interface Society of Japan, Vol.6(1), pp.59'68, 2004.

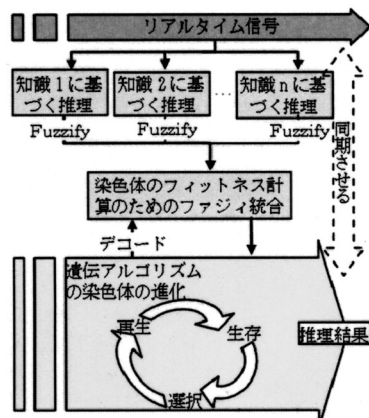


図1. ファジィ遺伝フレームワーク

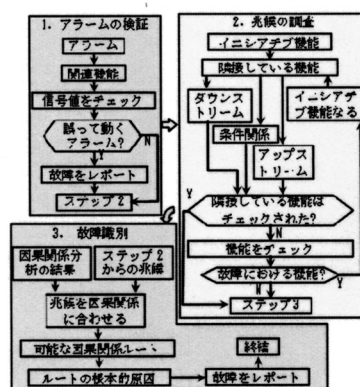


図2. 3段階の診断方法

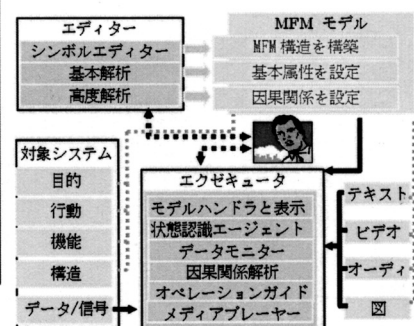


図3. マルチレベルフローモデルスタジオ

【論文博士一覧】

川端 英之	「Compiler Techniquesw for Large-Scale Numerical Computations」	平成16年11月24日
宮崎 泰典	「Novel InGaAsP Quantum Well Electroabsorption Modulators for Ultrahigh-Speed and Ultralow-Chirp Operation」	平成16年11月24日
布施 優	「光加入者系・高品位映像伝送分配方式に関する研究」	平成17年 1 月23日
コステン 史江	「High speed computational modeling in the application of UMB signals」(UMB信号への応用のための高速計算モデリング)	平成17年 3 月23日
高木 康夫	「厳密な状態空間の線形化理論を応用した非線形制御系の実用的設計法に関する研究」	平成17年 3 月23日
藤森 敬和	「強誘電体を用いたシリコン集積回路の高機能化に関する研究」	平成17年 3 月23日
藤田 善弘	「並列動画像処理LIS「IMAP」のアーキテクチャと動画像認識システムの開発」	平成17年 3 月23日
名古屋 彰	「ハードウェアの設計自動化手法に関する研究」	平成17年 3 月23日
平田 和史	「アンテナ配置最適化による不要波抑圧技術に関する研究」	平成17年 5 月23日